



ชุดสาธิตการสอบเทียบโหลดเซลล์แบบสองฟังก์ชัน
DUAL-FUNCTION LOAD CELL CALIBRATION DEMONSTRATION KIT

กุศลศ สุนันท์โรจน์
ศุภชัย หลีกคำ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2563
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



ชุดสาธิตการสอบเทียบโหลดเซลล์แบบสองฟังก์ชัน
DUAL-FUNCTION LOAD CELL CALIBRATION DEMONSTRATION KIT

กุลยศ สุวันทโรจน์
ศุภชัย หล้าคำ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2563
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อเรื่อง : ชุดสาธิตการสอบเทียบโพลดเซลแบบสองฟังก์ชัน
ผู้วิจัย : ผศ.กฤษศ สุวันทโรจน์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร
นายศุภชัย หลักคำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร
พ.ศ. : 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเครื่องทดสอบความคลาดเคลื่อนของโพลดเซลล์ และ
สาธิตการสอบเทียบโพลดเซลล์ โดยใช้ชุดทดสอบความคลาดเคลื่อนมีความยาวของคานรับ น้ำหนัก
ก้อนมวล 90 เซนติเมตร และสามารถสร้างแรงกดและทดสอบโพลดเซลล์ได้สูงสุดไม่เกิน 1 กิโลนิวตัน
การทดลองถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ 1.) ช่วงการทวนสอบย่านการทดสอบ และ 2.) ช่วงทดสอบ
ความเป็นเชิงเส้น โดยทั้ง 2 ช่วง ทดสอบที่อุณหภูมิที่ 25 องศา โดยใช้มวลขนาด 10 กิโลกรัม ถึง 30
กิโลกรัม ในสภาวะแรงกดต่ำสุดที่ 0.091 กิโลนิวตัน และแรงกดสูงสุดที่ 1.127 กิโลนิวตัน จากการ
ทดลองพบว่าความเป็นเชิงเส้นระหว่างแรงจากการคำนวณและมาตรฐานแสดงผล มีค่าความแตกต่างเพียง
ร้อยละ 0.354 ในขณะที่ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของมาตรฐาน แสดงผลและสัญญาณแรงดันไฟฟ้ามีค่า
เท่ากับ 0.0013 และ 0.0022 ตามลำดับ ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวมี ค่าน้อยกว่า 1 จึงมีความน่าเชื่อถือทาง
สถิติ นอกจากนี้ ความคลาดเคลื่อนจากชุดทดสอบโพลดเซลล์ มีค่าเท่ากับ 0.00300 (ร้อยละ 0.3) ซึ่ง
คำนวณได้จากการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของ อุปกรณ์หลักที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด



Title : Dual-function load cell calibration demonstration kit
Researcher : Asst.Prof. Kullayot Suwantaroj, Faculty of Engineering, RMUTP
Mr. Supachai Lakkam, Faculty of Engineering, RMUTP
Year : 2020

ABSTRACT

The objectives of this research are to design the load cell tolerance testing machine and demonstrate the tolerance of load cell with a tolerance test that has a beam length of 90 cm. It can create the compressed force at the load cell more than 1 kN The experiment can be divided into 2 stages; 1.) verification of load range and 2.) linearity test. Both stages are tested at a temperature at 25°C using 10 to 30 kg of mass in the lowest compressed force condition of 0.091 kN and the maximum compressed force condition of 1.12kN As a result, the linearity performance of the tolerance of the load cell test kit between calculated force and displayed value force are different 0.354 percentage only while the standard deviation of displayed value force and voltage signal output are 0.0013 and 0.0022 respectively. It reveals that the experimental result is reliable because of less than 1. In addition, the tolerance of the load cell tolerance testing machine is 0.00300 (0.3 percent) which was calculated from the comparison of the tolerance specification of two main equipment that specified by manufacturer.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จด้วยการสนับสนุนทุนการวิจัยจากงบประมาณประจำปีงบประมาณ 2563 ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณต่อคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนขอขอบคุณผู้ที่ให้ความร่วมมือและให้ความอนุเคราะห์ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้

คณะผู้วิจัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 สเตรนเกจ (Kyowa, 2562)	6
2.2 วงจรวิทสโตน (Kyowa, 2562)	7
2.3 โครงสร้างของบริดจ์ (Kyowa, 2562)	8
2.4 ความต่างศักย์ด้านเอาต์พุตของวงจรแบบฟูลบริดจ์ (Kyowa, 2562)	9
2.5 ความต่างศักย์ด้านเอาต์พุตของวงจรแบบควอเตอร์เตอร์บริดจ์ (Kyowa, 2562)	9
2.6 ความต่างศักย์ด้านเอาต์พุตของวงจรแบบฮาล์ฟบริดจ์ (Kyowa, 2562)	10
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	11
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	11
3.2 การออกแบบและคำนวณโครงสร้าง	12

3.3	ขั้นตอนการทดลอง	15
บทที่ 4	ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ข้อมูล	19
4.1	ผลการทดสอบเครื่องทดสอบความคลาดเคลื่อนของโพลดเซลล์	19
4.2	ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้น	20
4.3	การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากมาตรฐานแสดงผล และสัญญาณแรงดันไฟฟ้า	22
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	24
5.1	สรุปผลการทดลอง	24
5.2	ปัญหาและอุปสรรค	24
5.3	ข้อเสนอแนะ	24
	บรรณานุกรม	25
	ประวัติผู้วิจัย	26



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางสภาวะการทดลองความเป็นเชิงเส้นของโพลดเซลล์	15
4.1 ผลการทวนสอบ	18
4.2 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้น	20



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	โครงสร้างสเตรนเกจ	6
2.2	วงจรถัด	8
2.3	วงจรวงจรแบบควอเตอร์บรึด	8
2.4	วงจบบาส์ฟบรึด	8
2.5	วงจบบัสฟบรึด	9
2.6	วงจบบาส์ฟบรึด	10
2.7	วงจบบาส์ฟบรึด	10
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน	11
3.2	การออกแบบเครื่องทดสอบความคลาดเคลื่อนของโพลดเซลล์	12
3.3	แผนภาพโมเมนต์ตัด	13
3.4	พื้นที่ที่ใช้ในการคำนวณโมเมนต์ความเฉื่อย	13
3.5	โพลดเซลล์ รุ่น LC-5TV	14
3.6	จอแสดงผล Model WGA-680A	15
3.7	การเปิดเครื่องทดสอบ	16
3.8	การนำระดับน้ำวางลงบนคานของเครื่องทดสอบ	16
3.9	การนำระดับน้ำวางลงบนแผ่นปรับระดับโพลดเซลล์	17
3.10	การทดสอบและอ่านค่าจริง	17
3.11	วัดกระแสไฟโดยใช้มัลติมิเตอร์	18
3.12	การบันทึกผลการทดสอบ	18
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ได้จากการคำนวณ และมาตรแสดงผล	21
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ได้จากการคำนวณ และสัญญาณแรงดันไฟฟ้า	22
4.3	การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากมาตรแสดงผล และสัญญาณแรงดันไฟฟ้า	22

บทที่ 1

บทนำ

งานวิจัยบทนี้กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์การวิจัย ขอบเขตของการศึกษาประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมในประเทศไทยมีการขยายตัวเพิ่มขึ้น จากข้อมูลของเดือนมกราคม มี 2560 อัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.1 และขยายตัวร้อยละ 2559 เมื่อเทียบกับเดือนธันวาคม 1.เมื่อ 3 เทียบกับช่วงเดียวกันของปีก่อน ซึ่งมีผลให้ภาคอุตสาหกรรมมีการผลิตและส่งออกมากขึ้น โหลดเซลล์ จึงถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท ได้แก่ การชั่งน้ำหนัก การทดสอบแรงกดของ ชิ้นงาน การทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงาน จึงเป็นที่มาของโครงการที่จะนำเอาน้ำหนักของชิ้นงาน มากระทำ ความเครียดจะเปลี่ยนเป็นความต้านทานทางไฟฟ้า เพื่อให้เกิดประโยชน์ใน ภาคอุตสาหกรรม

เนื่องจากอุตสาหกรรมหลากหลายประเภทมีการชั่งน้ำหนัก โดยชั่งวัดตั้งแต่ยาเม็ดเล็ก ๆ จนกระทั่งในงานอุตสาหกรรมรถยนต์ และกระบวนการขนส่ง ในปัจจุบันเครื่องมือวัดน้ำหนักที่นิยมใช้ ในงานอุตสาหกรรมคือโหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ เป็นการใชระบบชั่งวัดที่มีความทันสมัย เครื่องมือวัด แบบโหลดเซลล์ที่มีสเตรนเกจนี้มีความแม่นยำอยู่ในช่วง 0.03-0.25% ของช่วงการวัดแบบเต็มสเกล และเหมาะสมที่จะใช้ในงานอุตสาหกรรมเกือบทุกรูปแบบ เช่น ในการขนถ่ายวัสดุที่เป็นก้อนๆ หรือ การตริงหรือดึงน้ำหนักบรรทุกทุก แทนชั่งน้ำหนักแบบที่มีขีดสเกลยังคงมีใช้อยู่อย่างกว้างขวาง ใดๆก็ตาม ในการใช้งานแบบนี้ แรงที่กระทำต่อคานกลไกมักจะถูกวัดโดยโหลดเซลล์ ทั้งนี้เป็น เพราะโหลด เซลล์มีความเหมาะสมกับการใช้งานในระบบดิจิทัลซึ่งอาจถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ อีกทีหนึ่ง ด้วย เหตุนี้การสอบเทียบเครื่องมือวัดจึงเป็นกระบวนการหนึ่งในอุตสาหกรรมที่ใช้สร้างความมั่นใจที่จำเป็น สำหรับการทำให้แน่ใจว่าเครื่องมือวัดที่ใช้งานยังสามารถทำงานได้อย่างมีคุณภาพ และเป็นไปตาม มาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยการสอบเทียบเครื่องมือวัด คือการเปรียบเทียบค่าของ เครื่องมือวัดของ โรงงาน กับค่ามาตรฐานของห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่สามารถสอบกลับได้สู่ มาตรฐานแห่งชาติ หรือ มาตรฐานระหว่างชาติได้ โดยในการสอบเทียบเครื่องมือวัดจะต้องรายงานค่า ความไม่แน่นอนของการ วัดด้วยทุกครั้ง ในปัจจุบันทุกมาตรฐานสากล จะมีข้อกำหนดที่กล่าวถึงการ สอบเทียบเครื่องมือวัด ทั้งสิ้น เช่น ISO 9000, ISO 14000, ISO/TS 16949, มอก.18000 เป็นต้น ซึ่ง เครื่องมือสอบเทียบโหลด เซลล์ต้นทุนต่ำนี้จะเป็นการศึกษาจากเครื่องสอบเทียบโหลดเซลล์ที่มีใช้กัน ใน งานอุตสาหกรรมต่างๆ เพื่อลดต้นทุนการผลิตและยังสามารถพัฒนาต่อยอดได้

การสอบเทียบเป็นการทดสอบที่ต้องใช้ค่าใช้จ่าย แต่การสอบเทียบก็มีความจำเป็นเพราะ หาก พิจารณาให้ดีจะเห็นว่ามูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นกับข้อมูล เมื่อใช้เครื่องมือวัดที่ไม่เป็น

มาตรฐาน ค่าใช้จ่ายในการสำรวจซึ่งอาจสูงกว่าค่าใช้จ่ายในการสอบเทียบเครื่องมือวัด การสอบเทียบเครื่องมือวัดจำนวนมากส่งผลต่อค่าใช้จ่ายและสูญเสียงบประมาณของหน่วยงานเกินความจำเป็น ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำการสร้างเครื่องสอบเทียบโหลดเซลล์ต้นทุนต่ำเพื่อลดการสูญเสียงบประมาณของหน่วยงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.) เพื่อออกแบบและสร้างชุดสาธิตการสอบเทียบโหลดเซลล์
- 2.) เพื่อสาธิตการสอบเทียบโหลดเซลล์

1.3 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

โหลดเซลล์ (Loadcell)

โหลดเซลล์ คือ เซนเซอร์หรือทรานสดิวเซอร์ที่สามารถแปลงค่าแรงกด แรงดึง โมเมนต์หรือภาระบิด เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งสามารถวัดค่าออกมาได้ด้วยเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า โหลดเซลล์ได้ถูกนำไปใช้กับงานที่หลากหลาย เช่น การทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ การทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงาน การชั่งน้ำหนัก หรือ ประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์วัดภาระ ในทิศทางต่างๆตามที่ต้องการ เป็นต้น (ภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2560) ชนิดของโหลดเซลล์สามารถแบ่ง ออกได้เป็น แบบ คือ 5

1.) โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ (Strain gage load cell)

หลักการของโหลดเซลล์ ประเภทนี้ก็คือ เมื่อมีน้ำหนักมากระทำ ความเครียดจะเปลี่ยนเป็นความต้านทานทางไฟฟ้าในสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่มากระทำ ปกติแล้วมักจะใช้เกจวัดความเครียด 4 วงจร) ตัว Wheatstone Bridge Circuit) ในการวัดโดยเกจตัว ต้านทานทั้งสองจะเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อใช้แปลงแรงที่กระทำกับตัวของมันไม่ว่าจะเป็นแรงกดหรือแรงดึงส่ง สัญญาณออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า โดยที่แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะมีหน่วยเป็น mV/V (งานสอบเทียบ, 2561)

2.) โหลดเซลล์แบบไฮดรอลิก (Hydraulic load cell)

ลักษณะของการทำงานก็คือจะวัดน้ำหนัก จากการเปลี่ยนแปลงความดันของของเหลวภายในระบบเมื่อมีแรงมากระทำที่แท่นรับน้ำหนักในโหลดเซลล์แบบไฮดรอลิกที่มีแผ่นไดอะแฟรม โดยแรงจะถูกส่งผ่านลูกสูบเป็นผลให้ของเหลวภายในช่องแผ่นไดอะแฟรมถูกกดอัด ซึ่งการวัดแรงที่เกิดขึ้นสามารถวัดได้จากความดันของของเหลวความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับแรงดันของของเหลวนี้ มีลักษณะเป็นแบบเชิงเส้นและไม่ขึ้นกับอุณหภูมิและปริมาณของของเหลวในกระบอก สูบโดยปกติ โหลดเซลล์แบบนี้จะความแม่นยำ)Accuracy) ในการวัดอยู่ที่ประมาณ 0. 3% ที่ Full Scale ซึ่งระดับความแม่นยำนี้ก็เป็นที่ยอมรับได้ในงานอุตสาหกรรมทั่วไป

ข้อดีของโหลดเซลล์แบบไฮดรอลิก คือ สามารถที่จะใช้ในพื้นที่ที่อันตราย)Hazardous Area) เช่น โรงงานที่มีวัตถุไวไฟต่างๆ เนื่องจาก Load cell แบบนี้ไม่ต้องใช้ไฟฟ้าในการวัด สำหรับข้อเสียของโหลดเซลล์แบบไดอะแฟรมนี้ คือสามารถรับแรงสูงสุดได้ไม่เกิน 1, 000psi เท่านั้น ซึ่งไม่เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการวัดแรงดันสูง (งานสอบเทียบ, 2561)

3.) โหลดเซลล์แบบนิวแมติก (Pneumatic load cell)

การทำงานใช้หลักการสมดุลแรงเช่นเดียวกับแบบไฮดรอลิก แตกต่างกันที่โหลดเซลล์แบบนี้จะมีความแม่นยำกว่าแบบไฮดรอลิก เพราะว่ามีการใช้ช่องว่างหลายช่องในการหน่วงความดันของ

ของเหลวเพื่อลดแรงสั่นสะเทือน โหลดเซลล์แบบนี้ มักจะใช้วัด สิ่งของที่มีน้ำหนักไม่มากนักในงาน อุตสาหกรรมที่ต้องการความสะอาดและความปลอดภัยสูง

สำหรับจุดเด่นของโหลดเซลล์แบบนี้ คือ สามารถทนแรงกระแทกได้สูงและไม่ไวต่อการ เปลี่ยนแปลง ของอุณหภูมินอกจากนี้ ในระบบนิวเมติก จะไม่ใช่ของเหลวในเครื่องมือวัด เหมือนกับ ระบบไฮดรอลิก ทำให้ไม่มีของเหลวมาปนเปื้อนโดนสิ่งที่ต้องการจะวัดในกรณีที่ได้อะพรมมีการ แหกรั่ว

สำหรับข้อเสีย ของ Load cell แบบนี้ คือความเร็วในการตอบสนองต่ำและต้องใช้งานใน สภาพแวดล้อมที่สะอาดปลอดภัยขึ้น อีกทั้งยังจะต้องมีการควบคุมอากาศหรือไนโตรเจนภายใน เครื่องให้เหมาะสม (งานสอบเทียบ, 2561)

4.) โหลดเซลล์แบบพีโซเรซิสทีฟ (Piezoresistive))

การทำงานเหมือนกับเกจวัดความเครียด แต่ไพโซเรซิสทีฟ สามารถผลิตสัญญาณออกมาได้ใน ระดับสูงจึงเหมาะสำหรับ เครื่องชั่งน้ำหนักที่ไม่ซับซ้อนใน การวัดเนื่องจากสามารถต่อเข้าโดยตรงกับ ส่วนแสดงผล อย่างไรก็ตามเครื่องมือวัดลักษณะนี้ได้รับความนิยมลดลงเรื่อยๆ เพราะตัวขยาย สัญญาณที่มีคุณภาพดีนั้นมีราคาถูกลง นอกจากนี้ ไพโซเรซิสทีฟ (Piezoresistive) ยังมีข้อเสียคือ ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่ออกกับน้ำหนักที่วัดมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น (งานสอบเทียบ, 2561)

5.) โหลดเซลล์แบบแมกเนโตสเตริกทีฟ (Magnetostrictive)

การทำงานของเซนเซอร์แบบนี้ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงในการแผ่สัญญาณแม่เหล็กของ แม่เหล็กถาวรที่อยู่ภายใต้แรงที่มากระทำแรงทำให้เกิดการ ผิดรูปของสนามแม่เหล็กและจะให้เกิด สัญญาณที่เป็นสัดส่วนโดยตรงต่อแรงที่มากระทำ ซึ่งจะใช้หลักการการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กโดย อุปกรณ์ลักษณะนี้จะตรวจวัดการเคลื่อนที่ของแกนแม่เหล็กและวัดการเหนี่ยวนำของขดลวด แม่เหล็กไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปในการเคลื่อนที่ของแกนเหล็กจะแปรผันโดยตรงกับน้ำหนักที่วัดนั่นเอง สำหรับโหลดเซลล์รูปแบบนี้มีความทนทานมากและยังคงมีใช้อยู่มากโดยเฉพาะอย่างยิ่งใน อุตสาหกรรมรีด โลหะ (งานสอบเทียบ, 2561)

การสอบเทียบ)Calibration((วิศรุต, 2550)

การสอบเทียบเป็นหัวใจสำคัญอย่างหนึ่งของเครื่องมือวัดและการควบคุมกระบวนการทาง อุตสาหกรรม การสอบเทียบคือการเปรียบเทียบกันระหว่างค่าที่ต้องการของอินพุตและเอาต์พุตของ เครื่องมือซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับมาตรฐานของตัวอ้างอิง)Reference Standardเพื่อรับรอง (อุปกรณ์หรือเครื่องมือวัดว่าทำงานด้วยความถูกต้องแม่นยำและอยู่ในขอบเขตที่ต้องการภายใต้ สภาพแวดล้อมที่กำหนด เครื่องมือสอบเทียบทำให้โรงงานและกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ต่างๆ มี คุณภาพตามความต้องการตลอดจนสามารถแสดงจุดบกพร่องและความคลาดเคลื่อนต่างๆ ให้เห็นได้

การสอบเทียบจะต้องกระทำเป็นระยะๆ เพื่อทดสอบความถูกต้องในการทำงานของเครื่องมือ หรือระบบและกำหนดการใช้งานที่เป็นมาตรฐาน การสอบเทียบจะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพการ ทำงานของเครื่องมือวัดให้มีมาตรฐานและเป็นที่ยอมรับตามมาตรฐานของตัวสอบเทียบและมาตรฐาน ของสภาพแวดล้อม การสอบเทียบไม่ได้เป็นการรับประกันการทำงาน of เครื่องมือแต่จะทำให้การวัด มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นหรือทำให้การทำงานที่ ต้องใช้ อุปกรณ์เหล่านี้มีความถูกต้องแม่นยำ

นำเชื่อถือ และอยู่ในขอบเขตที่กำหนด ถ้าอุปกรณ์หรือเครื่องมือวัดมีการปรับตั้งค่าใหม่ ซ่อมแซม เปลี่ยนแปลง หรือมีการใช้งานผิดๆ ควรจะต้องทำการสอบเทียบเครื่องมือเหล่านั้นใหม่เสมอ การบันทึกข้อมูลจะต้องทำเหมือนกับผู้ผลิตและต้องสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้ใช้งานว่าสามารถนำข้อมูลไปใช้อ้างอิงได้ โดยมาตรฐานการยอมรับนั้นสามารถแบ่งออกได้ ระดับคือ 3

1.) มาตรฐานปฐมภูมิ (Primary Standard)

มาตรฐานปฐมภูมิหมายถึงระดับที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงและมีหน่วยวัดค่าสัมบูรณ์ที่รับรองโดยสถาบันรับรองมาตรฐานนานาชาติ (National Standards Institution) มีความทนทานต่อการใช้งาน การที่จะได้เป็นเจ้าของมาตรฐานขั้นนี้และรักษาระดับมาตรฐานนี้ไว้เป็นเรื่องยากมาก ค่าสัมบูรณ์ในที่นี้หมายถึงความเป็นอิสระ ความสม่ำเสมอและไม่เกี่ยวข้องกับสิ่งอื่น

2.) มาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary Standard)

มาตรฐานทุติยภูมิหมายถึงมาตรฐานสัมบูรณ์ที่ใช้เป็นค่ามาตรฐานอ้างอิงในการสอบเทียบซึ่งจะกำหนดตัวเลขที่ได้มาจากมาตรฐานปฐมภูมิ การสอบเทียบในมาตรฐานทุติยภูมินี้จะเกี่ยวข้องกับ ความแม่นยำและชนิดของมาตรฐานที่ต้องการ

3.) มาตรฐานการทำงาน (Working Standards)

มาตรฐานการทำงานหมายถึงมาตรฐานทั่วไปซึ่งจะใช้เมื่อมีการจัดระบบในโรงงานและในห้องทดลองที่ต้องการความแม่นยำน้อยกว่ามาตรฐานทุติยภูมิ

เครื่องมือวัดที่ดีในความหมายของการสอบเทียบนั้นจะต้องมีทั้งมาตรฐานปฐมภูมิและทุติยภูมิ นอกจากนี้จะต้องประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่ผ่านการสอบเทียบสำหรับการวัดดังต่อไปนี้ เช่น การกระจัด (Displacement) ความเร็ว (Velocity) ความเร่ง (Accelerate) แรง (Force) ความดัน (Pressure) การไหล (Flow) อุณหภูมิ (Temperature) แรงดันไฟฟ้า (Voltage) กระแสไฟฟ้า (Current) เวลา (Time) และความถี่ (Frequency) ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการในงานอุตสาหกรรม ข้อสำคัญของอุปกรณ์ที่ใช้เป็นตัวมาตรฐานที่มีความจำเป็นมากคือ ตัวมาตรฐานจะต้องมีความแม่นยำมากกว่าเครื่องมือวัดที่จะทำการสอบเทียบ มาตรฐานในการเปรียบเทียบต้องการเพียงความน่าเชื่อถือและความแม่นยำเหมือนกับการใช้งาน

ในทุกๆ ขั้นตอนของการสอบเทียบสมควรที่จะต้องมีการอ่านค่าทั้งในสภาพที่ปกติและสภาพที่เสื่อมเชิงกล โดยปกติแล้วการสอบเทียบอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล (Electro – Mechanical Transducer) จะมีการสูญเสียเกิดขึ้นเนื่องจากการเสียดทานฮิสเตอร์รีซิสและปรากฏการณ์ธรรมชาติโดยทั่วไป ส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าจะเกิดขึ้นในกรณีของการไม่เป็นเชิงเส้นและความต้านทานสนามแม่เหล็ก เป็นต้น

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.) ศึกษาชุดสาธิตสอบเทียบโหลดเซลล์มีขนาดไม่เกิน 100kN
- 2.) ทำการสอบเทียบโหลดเซลล์แบบกวดเท่านั้น
- 3.) สามารถกวดชิ้นงานได้ทั้งการใช้ไฮดรอลิกส์และตุ้มน้ำหนักเป็นต้นกำลังสำหรับการสอบเทียบ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.) ชุดสอบเทียบโหลดเซลล์ระดับ มาตรฐานการทำงาน (Working Standard)



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 สเตรนเกจ (Kyowa, 2562)

การสร้างชุดสาธิตการสอบเทียบของงานวิจัยนี้ อาศัยหลักการใช้ไฮดรอลิกส์และตุ้มน้ำหนัก เป็นต้นกำลังในการกดชิ้นงานสำหรับการสอบเทียบ และใช้สเตรนเกจซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดมิติ หรือความเครียดในเนื้อวัสดุ ซึ่งเป็นผลมาจากแรงภายนอกที่มากระทำด้วยการให้กำเนิดสัญญาณทางไฟฟ้า

โครงสร้างของสเตรนเกจมีอยู่หลายประเภท แต่แบบที่ใช้งานอย่างแพร่หลายมีโครงสร้างเป็นแถบของขดลวดตัวต้านทานทางไฟฟ้าที่ทำจากโลหะแผ่นบาง 6 ถึง 3 มีความหนาประมาณ) μm) ซึ่งยึดติดอยู่บนฐานที่เป็นแผ่นฟิล์มพลาสติก 16 ถึง 15 มีความหนาประมาณ) μm) แล้วถูกเคลือบด้วยแผ่นฟิล์มบางๆ ด้านบน



รูปที่ 2.1 โครงสร้างสเตรนเกจ

สเตรนเกจถูกยึดเข้ากับวัตถุที่ต้องการวัดความเครียดอย่างแน่นหนา จึงทำให้ตัวรับสัญญาณ (ตัวต้านทานทางไฟฟ้าที่ทำจากโลหะแผ่นบาง) จะยืด หรือหดตัวตามความเครียดของวัตถุที่ต้องการวัดค่า ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของโลหะส่วนใหญ่จะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อโลหะมีการยืด หรือหดตัวทางกล สเตรนเกจใช้หลักการนี้ในการวัดค่าความเครียดผ่านการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้า โดยทั่วไปตัวรับสัญญาณของสเตรนเกจทำจากโลหะผสมแผ่นบาง ที่เป็นส่วนผสมระหว่างทองแดงกับนิกเกิล โลหะผสมแผ่นบางนี้มีอัตราการแปลงความต้านทานทางไฟฟ้าต่อความเครียดเป็นแบบเชิงเส้นที่มีค่าคงที่แน่นอนค่าหนึ่ง กำหนดความสัมพันธ์หลักดังนี้:

$$\Delta R/R = K_s \cdot \epsilon \quad (2.1)$$

เมื่อ R = ความต้านทานทางไฟฟ้าเดิมของสเตรนเกจ
 ΔR = ความต้านทานทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อสเตรนเกจมีการยืดหรือหดตัว
 K_s = ค่าคงที่ของความสัมพันธ์ หรือ เกจแฟคเตอร์
 ϵ = ความเครียด

เกจแฟคเตอร์ K_s จะมีค่าแตกต่างกันไปตามชนิดของโลหะ ซึ่งโลหะผสมระหว่างทองแดงกับนิกเกิลมีค่าเกจแฟคเตอร์ประมาณ ดังนี้ วัสดุสเตรนเกจที่ใช้โลหะผสมชนิดนี้เป็นตัวรับสัญญาณสามารถใช้ค่าคงที่นี้ในการแปลงค่าความเครียดทางกลเป็นค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานทางไฟฟ้าได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความเครียดเป็นปรากฏการณ์ที่มีขนาดเล็กมากๆ จนไม่สามารถมองเห็นได้ จึงทำให้ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากความเครียดมีค่าน้อยมากๆ ด้วยเช่นกัน ในทางปฏิบัติแล้วการเปลี่ยนแปลงนี้ยากมากที่จะทำการวัดค่าได้อย่างถูกต้อง และ ไม่สามารถวัดค่าได้ด้วยเครื่องมือวัดความต้านทานทางไฟฟ้าทั่วไป ด้วยเหตุนี้การวัดการเปลี่ยนแปลง ความต้านทานทางไฟฟ้า จึงต้องใช้เครื่องมือเฉพาะทางที่เรียกว่าสเตรนแอมพลิฟายเออร์ และ วงจรไฟฟ้าที่เรียกว่าวิทสโตนบริดจ์

2.2 วงจรวิทสโตน (Kyowa, 2562)

วิทสโตนบริดจ์เป็นวงจรไฟฟ้าเหมาะสมสำหรับการตรวจวัดค่าความต้านทานทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปของสเตรนเกจ โดยบริดจ์ประกอบด้วยความต้านทานจำนวน 4 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.2

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 \quad (2.2)$$

หรือ $R_1 \times R_3 = R_2 \times R_4 \quad (2.3)$

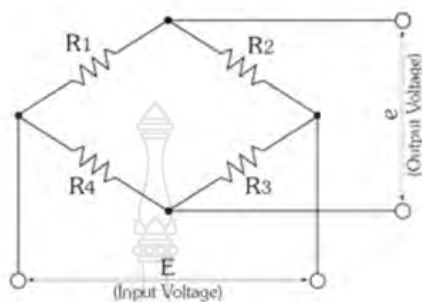
เมื่อทำการป้อนความต่างศักย์ให้ด้านอินพุตแล้ว ความต่างศักย์ด้านเอาต์พุต e จะมีค่าเป็นศูนย์ สถานะนี้เรียกว่าวงจรบริดจ์สมดุล เมื่อวงจรบริดจ์เสียสมดุลจากการสูญเสียสภาพตามเงื่อนไขข้างต้น ความต่างศักย์ด้านเอาต์พุตที่วงจรจ่ายออกมาจะสัมพันธ์กับค่าความต้านทานทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปของสเตรนเกจ ดังที่แสดงในรูปที่ 2.3 สเตรนเกจถูกนำมาต่อเข้ากับวงจรแทนที่ R_1 เมื่อสเตรนเกจได้รับความเครียดแล้ว ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไป ΔR ความต่างศักย์ด้านเอาต์พุต e จะมีค่าดังนี้

$$e = \frac{1}{4} \times \Delta R / R \times E \quad (2.4)$$

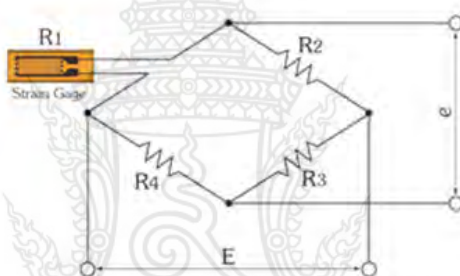
$$\frac{\Delta R}{R} = K_s \times \epsilon \quad (2.5)$$

ดังนั้น

$$e = \frac{1}{4} \cdot K_s \cdot \varepsilon \cdot E \quad (2.6)$$



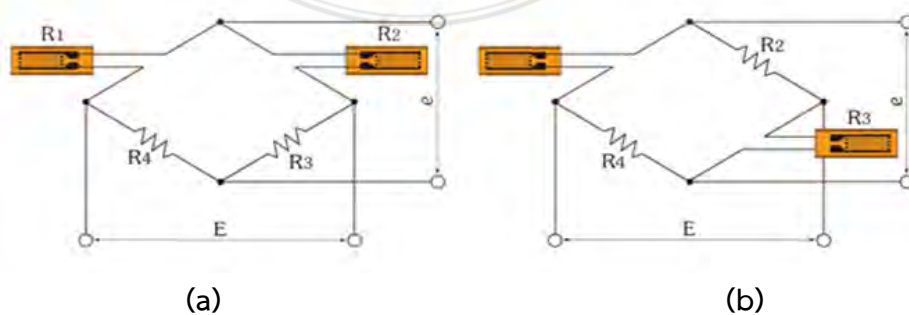
รูปที่ 2.2 วงจรบริดจ์



รูปที่ 2.3 วงจรวงจรแบบควอเตอร์บริดจ์

2.3 โครงสร้างของบริดจ์ (Kyowa, 2562)

โครงสร้างที่อธิบายด้านบน เรียกว่า วงจรแบบควอเตอร์บริดจ์ เนื่องจากมีตัวต้านทานไฟฟ้า 1 ใน 4 ตัวของวงจรเป็นสเตรนเกจ นอกจากวงจรแบบควอเตอร์บริดจ์แล้ว ยังมีวงจรแบบฮาล์ฟบริดจ์ และฟูลบริดจ์อีกด้วย วงจรแบบฮาล์ฟบริดจ์ในวงจรแบบนี้ สเตรนเกจจะถูกต่อเข้ากับวงจรบริดจ์ด้วยวิธีการแบบใดแบบหนึ่งในสองแบบ ดังแสดงในรูป 2.4



รูปที่ 2.4 วงจรแบบฮาล์ฟบริดจ์

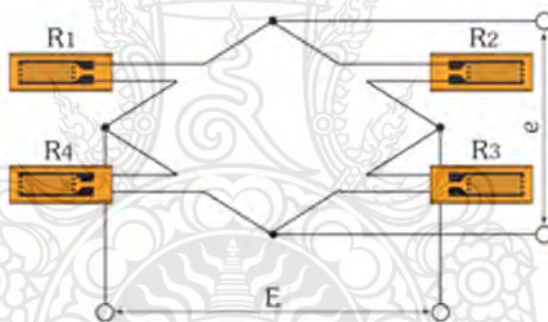
2.4 ความต่างศักย์ด้านเอาต์พุตของวงจรแบบฟูลบริดจ์ (Kyowa, 2562)

วงจรแบบฟูลบริดจ์มีสเตรนเกจต่ออยู่แทนที่ตัวต้านทั้ง 4 ตัวของวงจร วงจรแบบนี้ไม่นิยมนำมาใช้สำหรับการวัดความเครียด แต่ถูกใช้ในการสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดที่สร้างขึ้นจากสเตรนเกจ เมื่อสเตรนเกจทั้ง 4 ตัว มีค่าความต้านทานทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปเป็น $\Delta R_1 + \Delta R_1$, $\Delta R_2 + \Delta R_2$, $\Delta R_3 + \Delta R_3$ และ $\Delta R_4 + \Delta R_4$ ตามลำดับความต่างศักย์ ด้านเอาต์พุต e คือ

$$e = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) \cdot E \quad (2.7)$$

ถ้าสเตรนเกจทั้ง 4 ตัวมีคุณสมบัติเหมือนกันรวมทั้งค่าเกจแฟกเตอร์ K_s ด้วย และความเครียดที่สเตรนเกจแต่ละตัวได้รับคือ ϵ_1 , ϵ_2 , ϵ_3 และ ϵ_4 ตามลำดับแล้ว สมการด้านบนจะกลายเป็น

$$e = \frac{1}{4} \cdot K_s \cdot (\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4) \cdot E \quad (2.8)$$



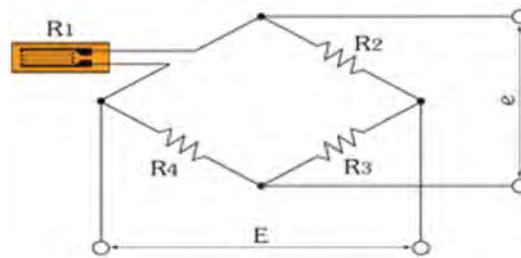
รูปที่ 2.5 วงจรแบบฟูลบริดจ์

2.5 ความต่างศักย์ด้านเอาต์พุตของวงจรแบบควอเตอร์บริดจ์ (Kyowa, 2562)

จากสมการของเอาต์พุตของวงจรแบบฟูลบริดจ์ กรณีของวงจรแบบควอเตอร์บริดจ์ ซึ่งความต้านทาน R_1 ตัวเดียวเท่านั้นที่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นความต่างศักย์ด้านเอาต์พุตคือ

$$e = \frac{1}{4} \times \frac{\Delta R_1}{R_1} \times E \quad (2.9)$$

$$e = \frac{1}{4} \times \epsilon_1 \times E \quad (2.10)$$



รูปที่ 2.6 วงจรแบบควอร์เตอร์บริดจ์

2.6 ความต่างศักย์ด้านเอาต์พุตของวงจรแบบฮาล์ฟบริดจ์ (Kyowa, 2562)

วงจรแบบนี้มีตัวต้านทานไฟฟ้า 2 ใน 4 ตัวของวงจรเป็นสเตรนเกจ ซึ่งค่าความต้านทานไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นวงจรที่แสดงในรูปที่ 2.7 (a)

ให้ความต่างศักย์ด้านเอาต์พุตคือ

$$e = \frac{1}{4} \times \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} \right) \times E \quad (2.11)$$

หรือ

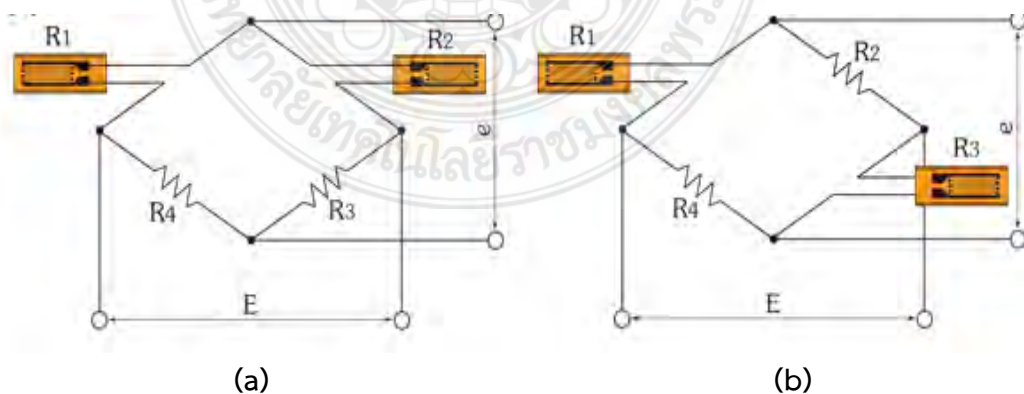
$$e = \frac{1}{4} \times K_s \times (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \times E \quad (2.12)$$

ในกรณีของ รูป 2.7 (b)

$$e = \frac{1}{4} \times \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_3}{R_3} \right) \times E \quad (2.13)$$

หรือ

$$e = \frac{1}{4} \times K_s \times (\varepsilon_1 + \varepsilon_3) \times E \quad (2.14)$$



รูปที่ 2.7 วงจรแบบฮาล์ฟบริดจ์

บทที่ 3

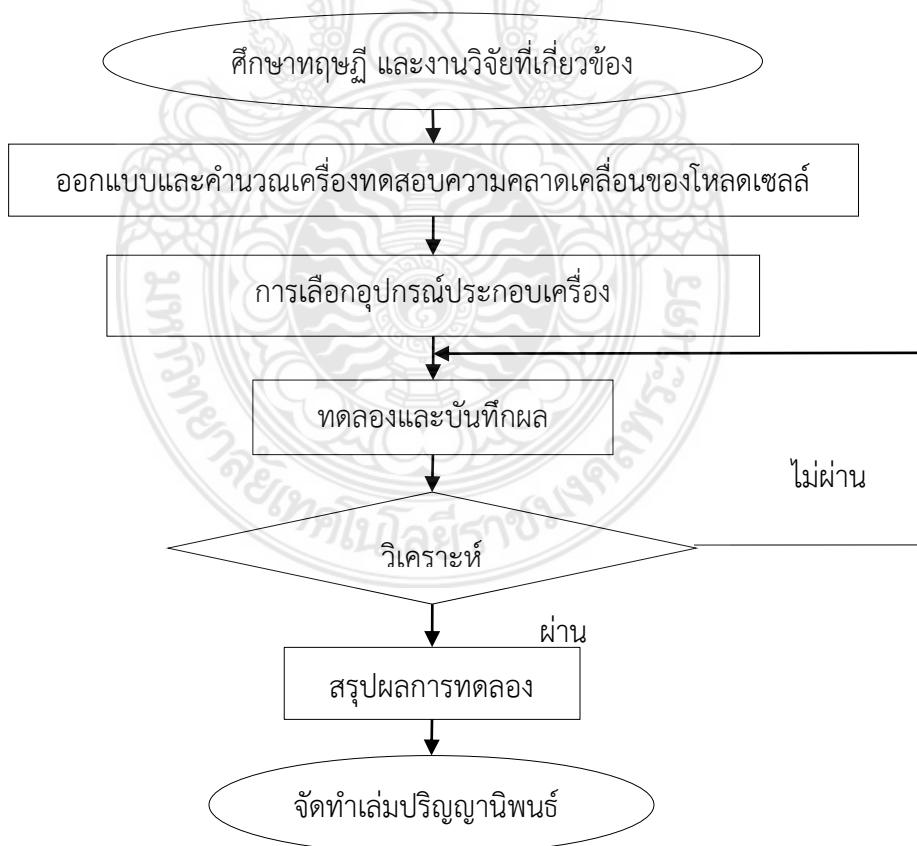
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์งานวิจัยในครั้งนี้ จำเป็นต้องมีการศึกษาข้อมูลต่างๆ และ ออกแบบการทดสอบ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) การเลือกอุปกรณ์ประกอบเครื่อง
- 3) ทดลองและบันทึกผล
- 4) วิเคราะห์ผลการทดสอบ
- 5) สรุปผลงานวิจัย

จากขั้นตอนการดำเนินงานดังกล่าวสามารถแสดงดังรูปที่ 3.1

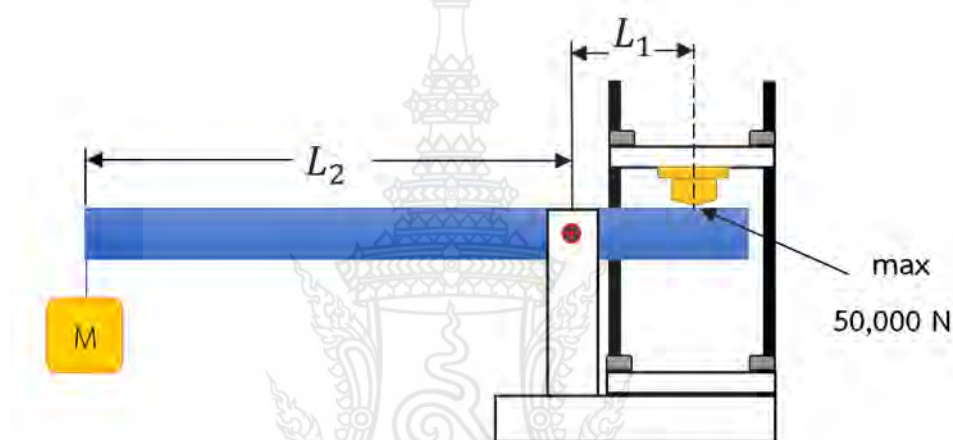


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2 การออกแบบและคำนวณโครงสร้าง

3.2.1 การออกแบบเครื่องทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนของชุดทดสอบโพลดเซลล์

การออกแบบเครื่องทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนของชุดทดสอบโพลดเซลล์ ควรคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของโครงงานฯ โดยแบ่งการออกแบบคานออกเป็น 2 ช่วง คือ 1) คานกดโพลดเซลล์ (L_1) ยาว 21 เซนติเมตร และ 2) คานรับน้ำหนักก่อนมวล (L_2) ยาว 90 เซนติเมตร เพื่อให้สัมพันธ์กับโพลดเซลล์ ตามขอบเขตของโครงงานที่กำหนดไว้ และเลือกการติดตั้งโพลดเซลล์ไว้ด้านบนเพื่อให้สัมพันธ์กับลักษณะการทำงานของคานรับน้ำหนักจากการแขวนตุ้มน้ำหนัก ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การออกแบบเครื่องทดสอบความคลาดเคลื่อนของโพลดเซลล์

3.2.2 การคำนวณโครงสร้าง

1) การคำนวณหาค่าแรงที่ใช้ในการออกแบบ

การคำนวณหาค่าแรงที่ใช้ในการออกแบบลูกตุ้มที่มากกระทำต่อปลายของคานมีมวลตั้งแต่ 10, 20 และ 30 กิโลกรัม นำมาคำนวณหาแรงกิริยา เพื่อใช้ในการออกแบบและทดสอบ ซึ่งสามารถคำนวณหาแรงกิริยาได้ดังนี้ จากสมการที่ (2.19)

$$F = mg$$

แทนค่าหา F เมื่อลูกตุ้มมีขนาด 10 kg

$$F = (10\text{kg}) (9.80665 \text{ m/s}^2)$$

$$F = 98.0665 \text{ N หรือ } 0.0980665 \text{ kN}$$

แทนค่าหา F เมื่อลูกตุ้มมีขนาด 20 kg

$$F = (20\text{kg}) (9.80665\text{m/s}^2)$$

$$F = 196.133 \text{ N หรือ } 0.196133 \text{ kN}$$

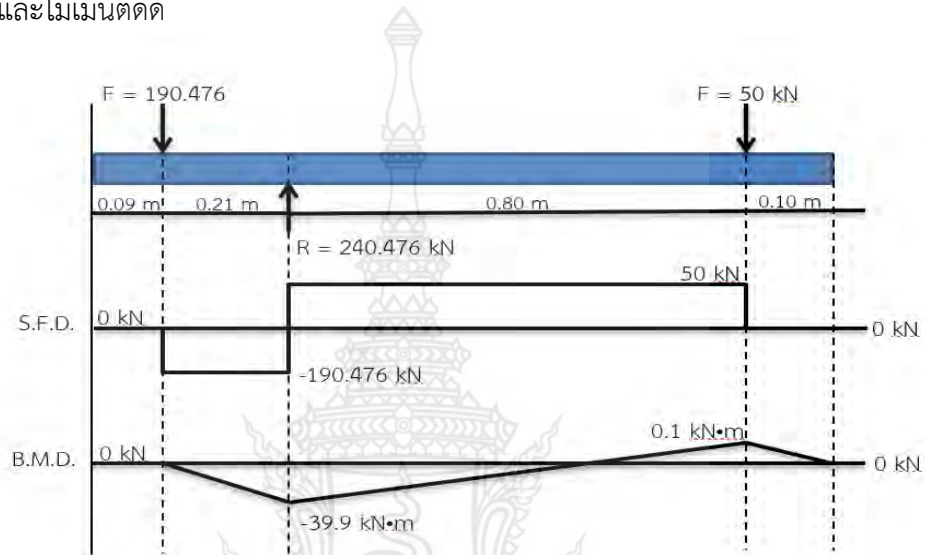
แทนค่าหา F เมื่อลูกตุ้มมีขนาด 30 kg

$$F = (30\text{kg}) (9.80665\text{m/s}^2)$$

$$F = 294.1995 \text{ N หรือ } 0.2941995 \text{ kN}$$

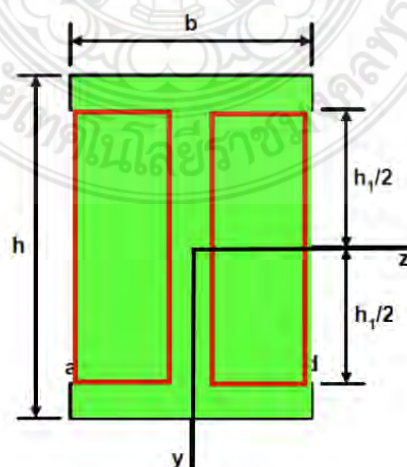
2) การเขียนแผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด

จากขอบเขตโครงงาน นำมาสู่การออกแบบโครงสร้างของเครื่องทดสอบให้สามารถรับแรงกดสูงสุดไม่เกิน 50 กิโลนิวตัน โดยสามารถคำนวณหาโมเมนต์ดัดสูงสุด ดังรูปที่ 3.3 แผนภาพของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด



รูปที่ 3.3 แผนภาพโมเมนต์ดัด

จากแผนภาพโมเมนต์ดัด (รูปที่ 3.3) สามารถหาโมเมนต์ดัดสูงสุด M_{max} ได้จากแผนภาพ B.M.D. มีค่าเท่ากับ $39.9 \text{ kN}\cdot\text{m}$ และระยะจากแกนสะเทินไปยังผิวนอกสุด c มีค่าเท่ากับ 50 cm ซึ่งหน้าตัดของคานที่ใช้ในการทดลองมีขนาด $100 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ โดยค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ที่สามารถคำนวณค่าได้ดังนี้



รูปที่ 3.4 พื้นที่ที่ใช้ในการคำนวณโมเมนต์ความเฉื่อย

$$I = \frac{bh^3}{12} - \frac{(b-t)h_1^3}{12}$$

$$I = \frac{(50)(100)^3}{12} - \frac{(50-5)(86)^3}{12}$$

$$= 1781456.667 \text{ mm}^4, 1.78 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

จากแผนภาพโมเมนต์ดัดสามารถคำนวณหาความเค้นดัดสูงสุดของคานาได้ดังสมการต่อไป้จากสมการที่ (2.22)

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

$$= \frac{39.9 \text{ kN} \cdot \text{m}(0.50 \text{ m})}{1.78 \times 10^{-6} \text{ m}^4}$$

$$\sigma = 11,207.865 \text{ MPa}$$

3.2.3 การเลือกอุปกรณ์ประกอบเครื่อง

1) โหลดเซลล์ (Kyowa, 2562)

จากขอบเขตการทดลองกำหนดแรงกดไม่เกิน 50 กิโลนิวตัน ทำให้เลือกใช้โหลดเซลล์รุ่น LC-5TV เนื่องจากโหลดเซลล์รุ่นนี้มีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ถึง 50 กิโลนิวตัน และมีค่า Nonlinearity และ Hysteresis อยู่ที่ไม่เกิน ± 0.05 % ค่า Safe overloads ถึง 150 % ซึ่งมีความละเอียดและความแข็งแรง เหมาะสำหรับการนำมาใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.5 โหลดเซลล์ รุ่น LC-5TV (Kyowa, 2562)

2) จอแสดงผล (Kyowa, 2562)

มีฟังก์ชันในการใช้งานที่หลากหลาย ซึ่งสามารถแสดงค่าที่ได้จากโหลดเซลล์มาเป็นค่าทางน้ำหนัก และสามารถวัดค่า Output เป็นค่าทางกระแสไฟฟ้า ซึ่งจอแสดงผลนั้นมีค่า Nonlinearity อยู่ที่ไม่เกิน ± 0.02 % จึงเลือกใช้ Model WGA-680A ให้เหมาะกับการทดลองนี้



รูปที่ 3.6 จอแสดงผล Model WGA-680A (Kyowa, 2562)

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

หลังจากการทดลองได้ศึกษาการใช้จอแสดงผล ก่อนจะเริ่มการทดลอง เพราะอาจจะให้ผลที่ทดลองได้มีความคลาดเคลื่อน ไม่ตรงตามจุดประสงค์ที่มุ่งหวัง ขั้นตอนหลัก ๆ จะมุ่งเน้นการศึกษาเครื่องทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนของชุดทดสอบโหลดเซลล์

3.3.1 สภาวะการทดลอง

ตารางที่ 3.1 ตารางสภาวะการทดลองความเป็นเชิงเส้นของโหลดเซลล์

การทวนสอบการอ่านค่า			
น้ำหนัก (kg)	อุณหภูมิ (°C)	ระยะคานกตโหลดเซลล์, L ₁ (cm)	ระยะคานแขนน้ำหนัก, L ₂ (cm)
30 (M _{max})	25	-	20-80
10 (M _{min})		-	20-80
การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของโหลดเซลล์			
น้ำหนัก (kg)	อุณหภูมิ (°C)	ระยะคานกตโหลดเซลล์, L ₁ (cm)	ระยะคานแขนน้ำหนัก, L ₂ (cm)
10	25	21.5	20-80
20			20-80
30			20-80

3.2.2 วิธีกรทดลอง

เริ่มทดสอบโดยการเสียบปลั๊กเครื่องทดสอบ แล้วกดปุ่ม ZERO เพื่อให้ค่าก่อนการเก็บข้อมูลเป็นศูนย์หลังจากนั้น นำระดับน้ำวางลงบนแผ่นปรับระดับโหลดเซลล์ และคานของเครื่องทดสอบ ปรับระดับในแนวระนาบ เพื่อให้ค่าที่ได้มีความแม่นยำ และมีประสิทธิภาพในการทดสอบมากขึ้น แล้วจึงเริ่มทดสอบโดยการนำตุ้มน้ำหนักที่มีขนาด 10, 20 และ 30 กิโลกรัม แขนบนเครื่องทดสอบกำหนดระยะ 20 เซนติเมตร โดยเพิ่มครั้งละ 5 เซนติเมตร จนถึง 80 เซนติเมตร พร้อมกับอ่าน

ค่าที่ได้ ลำดับสุดท้ายบันทึกผลการทดสอบที่ได้ในแต่ละช่วงน้ำหนัก และระยะที่กำหนดเพื่อนำผลทดสอบไปเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ

1) การเปิดเครื่องทดสอบ

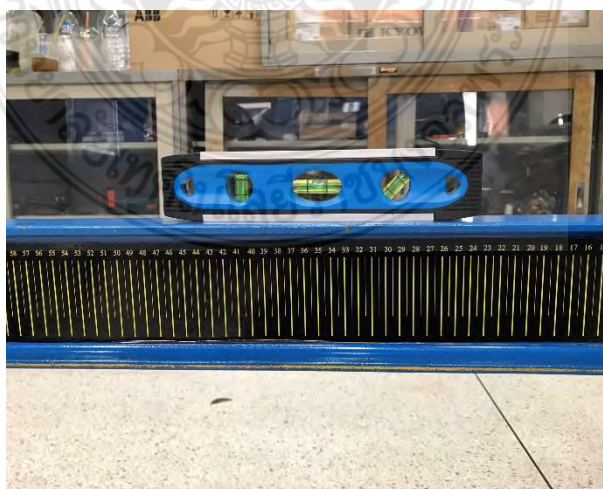
เริ่มทดสอบโดยการต่อกระแสไฟเข้าเครื่องทดสอบแล้วกดปุ่มปรับ (ZERO) ค่าให้ค่าก่อนการเก็บข้อมูลเป็นศูนย์เพื่อให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด



รูปที่ 3.7 การเปิดเครื่องทดสอบ

2) การนำระดับน้ำบนเครื่องทดสอบ

นำระดับน้ำวางลงบนคานของเครื่องทดสอบ ปรับระดับในแนวระนาบเพื่อให้ค่าที่ได้มีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพในการทดสอบมากขึ้น



รูปที่ 3.8 การนำระดับน้ำวางลงบนคานของเครื่องทดสอบ

3) การจัดระดับน้ำวางลงบนแผ่นปรับระดับโพลดเซลล์

นำระดับน้ำวางลงบนแผ่นปรับระดับโพลดเซลล์ ปรับระดับในแนวระนาบเพื่อให้ค่าที่ได้มีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพในการทดสอบมากขึ้น



รูปที่ 3.9 การนำระดับน้ำวางลงบนแผ่นปรับระดับโพลดเซลล์

4) การเริ่มทดสอบ และการอ่านค่าที่ทดลองได้

เริ่มทดสอบโดยการนำตุ้มน้ำหนักที่มีขนาด 10, 20 และ 30 กิโลกรัม แขนงบนเครื่องทดสอบกำหนดระยะ 20 เซนติเมตร โดยเพิ่มระยะคาน (L_2) ครั้งละ 5 เซนติเมตร จนถึง 80 เซนติเมตร พร้อมกับการอ่านค่าที่ได้



รูปที่ 3.10 การทดสอบและอ่านค่าจริง

5) การวัดกระแสไฟ โดยมัลติมิเตอร์

นำมัลติมิเตอร์มาวัดกระแสที่ขั้ว Input, Output, Com และ V_0 เพื่อนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากโหลดเซลล์



รูปที่ 3.11 วัดกระแสไฟโดยใช้มัลติมิเตอร์

6) การบันทึกผลการทดสอบ

บันทึกผลการทดสอบตามสภาวะการทดลองความเป็นเชิงเส้นของโหลดเซลล์ที่ได้ในแต่ ละช่วงน้ำหนักและระยะที่กำหนดตามตารางที่ 3.1 เพื่อนำผลทดสอบไปเปรียบเทียบกับผลการ คำนวณ



รูปที่ 3.12 การบันทึกผลการทดสอบ

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ข้อมูล

การทดลองเครื่องเปรียบเทียบโหลเซลล์ คือ การสอบเทียบโหลเซลล์เพื่อหาประสิทธิภาพของโหลเซลล์ เทียบกับผลการคำนวณของตุ้มน้ำหนักและระยะทาง เพื่อหาความคลาดเคลื่อนหรือประสิทธิภาพของโหลเซลล์

4.1 ผลการทวนสอบเครื่องทดสอบความคลาดเคลื่อนของโหลเซลล์

ดังตารางที่ 4.1 หลังจากการทดสอบเทียบ จะแสดงให้เห็นค่าความแตกต่างระหว่าง M_{max} และ M_{min} ของผลการคำนวณแรง กับผลการอ่านจากมาตรวัด จึงได้ค่าความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเจน

ตารางที่ 4.1 ผลการทวนสอบ

การทวนสอบการอ่านค่า					
	ระยะ (cm)	ตุ้มน้ำหนัก (kg)	ผลแรงคำนวณ (kN)	ผลแรงอ่านจาก มาตรา (kN)	ความ แตกต่าง (%)
(M_{max})	80	30	0.093	0.091	0.091
(M_{min})	20	10	1.121	1.127	2.15

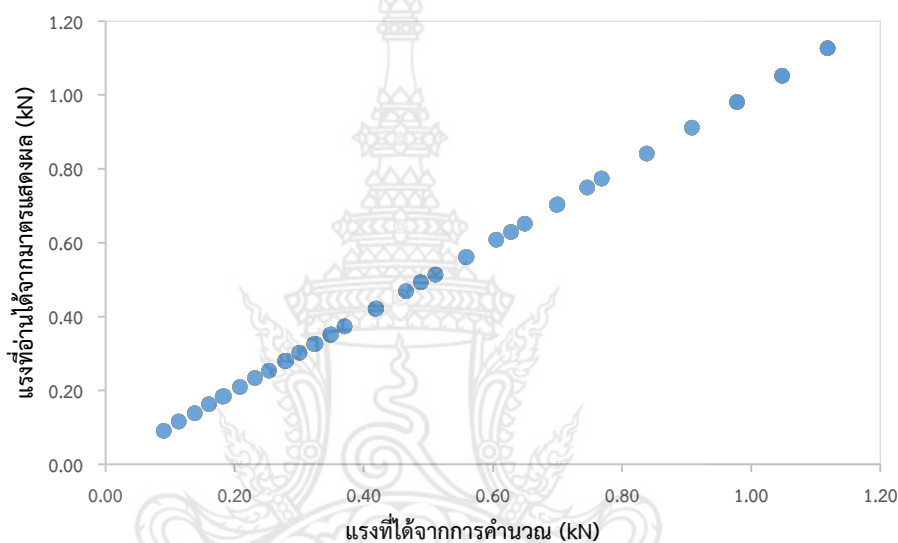
4.2 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้น

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้น

ระยะ	ค่าที่ได้จากการคำนวณ,A (kN)			ค่าเฉลี่ยจากการทดสอบ,B (kN)			ค่าที่ได้จากการทดสอบ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (VDC)			ความแตกต่าง A-B (%)
	ค้ำน้ำหนัก									
	10kg	20kg	30kg	10kg	20kg	30kg	10kg	20kg	30kg	
20	0.093			0.091			0.014			2.151
25	0.117			0.116			0.020			0.854
30	0.140			0.139			0.025			0.714
35	0.163			0.163			0.031			0
40	0.187			0.185			0.036			1.069
45	0.210			0.210			0.044			0
50	0.233			0.235			0.047			0.858
55	0.257			0.254			0.053			1.167
60	0.280			0.280			0.057			0
65	0.304			0.303			0.063			0.328
70	0.327			0.327			0.068			0
75	0.350			0.351			0.074			0.285
80	0.374			0.369			0.079			1.336
20		0.187			0.184			0.032		1.604
25		0.233			0.234			0.042		0.429
30		0.280			0.283			0.052		1.071
35		0.327			0.326			0.065		0.305
40		0.374			0.374			0.072		0
45		0.420			0.421			0.083		0.238
50		0.467			0.469			0.093		0.428
55		0.514			0.514			0.103		0
60		0.560			0.561			0.113		0.178
65		0.607			0.609			0.123		0.329
70		0.654			0.652			0.133		0.305
75		0.700			0.703			0.143		0.428
80		0.747			0.750			0.153		0.401
20			0.280			0.281			0.051	0.357
25			0.350			0.352			0.065	0.571
30			0.420			0.422			0.079	0.476
35			0.490			0.493			0.094	0.612
40			0.560			0.562			0.109	0.357
45			0.630			0.629			0.124	0.158
50			0.700			0.704			0.137	0.571
55			0.771			0.774			0.152	0.389
60			0.841			0.842			0.167	0.118
65			0.912			0.912			0.182	0
70			0.981			0.981			0.196	0
75			1.051			1.052			0.210	0.095
80			1.121			1.127			0.224	0.535

4.2.1 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นระหว่างแรงที่ได้จากการคำนวณ และมาตรแสดงผล

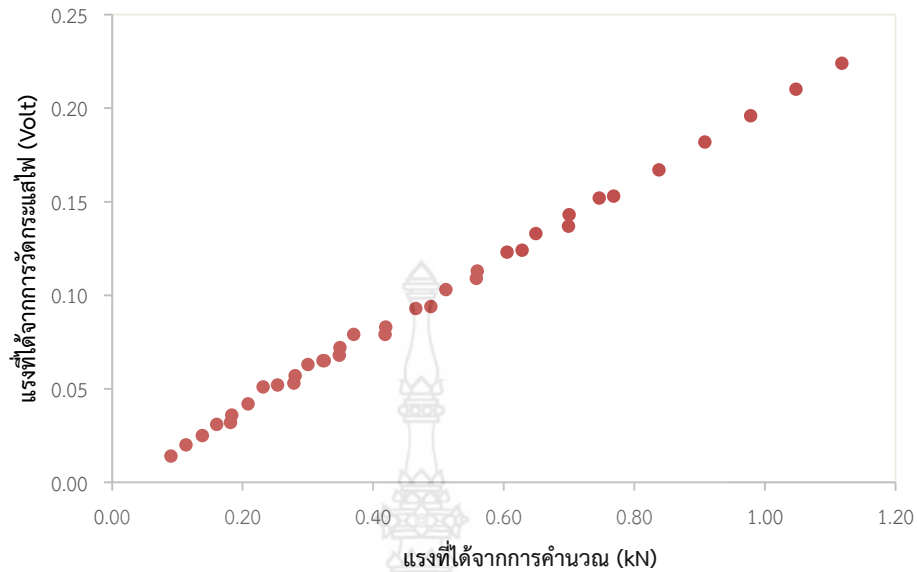
ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ได้จากการคำนวณ (x) และแรงที่อ่านได้จากมาตรแสดงผล (y₁) และนำทฤษฎีสมการถดถอยแบบเส้นตรง (Linear Regression) มาทำการวิเคราะห์เพื่อสร้างสมการได้คือ $y_1=1.00354x$ โดยมี ค่าความน่าจะเป็น (P value) เท่ากับ 1.28664×10^{-8} ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นของผลการทดลองครั้งนี้ที่ได้จากโพลตเซลล์และเครื่องทดสอบความคลาดเคลื่อนของโพลตเซลล์ประกอบรวมกัน โดยมีค่าความแตกต่างระหว่างแรงที่ได้จากการคำนวณ (x) และแรงที่อ่านได้จากมาตรแสดงผล (y₁) เพียงร้อยละ 0.354 เท่านั้น ซึ่งเป็นค่าที่มีความน่าเชื่อถือสูง ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ได้จากการคำนวณ และมาตรแสดงผล

4.2.2 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นระหว่างแรงที่ได้จากการคำนวณ และสัญญาณแรงดันไฟฟ้า

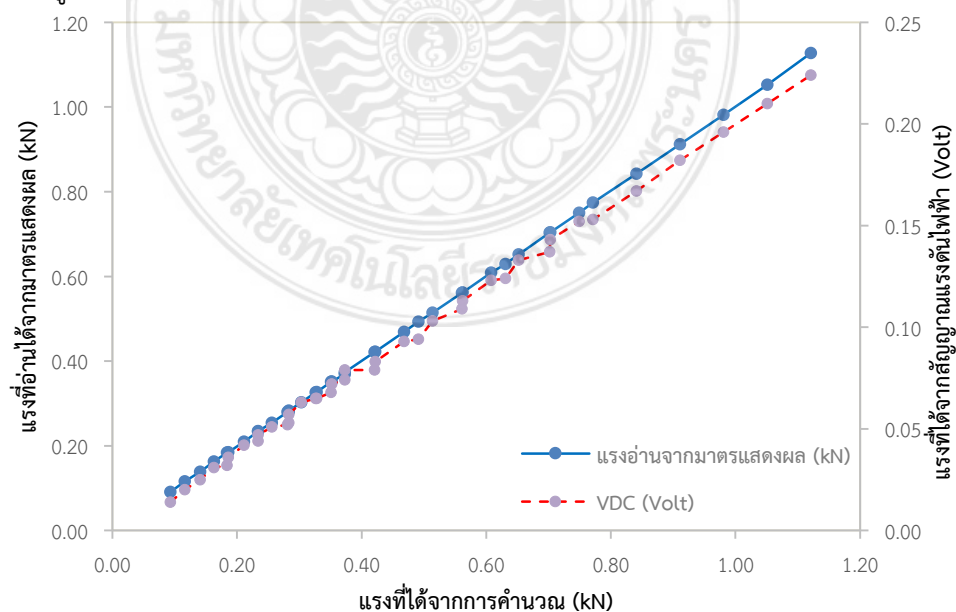
ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ได้จากการคำนวณ (x) และแรงที่ได้อ่านได้จากสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (y₂) จากการนำทฤษฎีสมการถดถอยแบบเส้นตรง (Linear Regression) สามารถสร้างสมการได้เท่ากับ $y_2=0.20249x$ โดยมี ค่าค่าความน่าจะเป็น (P value) เท่ากับ 1.91422×10^{-8} ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นของผลการทดลองครั้งนี้ที่ได้จากโพลตเซลล์ และเครื่องทดสอบความคลาดเคลื่อนของโพลตเซลล์ประกอบรวมกัน โดยมีค่าความแตกต่างระหว่างที่ได้จากการคำนวณ (x) และแรงที่อ่านได้จากมาตรแสดงผล (y₂) เพียงร้อยละ 0.0202 เท่านั้น ซึ่งเป็นค่าที่มีความน่าเชื่อถือสูง



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ได้จากการคำนวณ และสัญญาณแรงดันไฟฟ้า

4.3 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากมาตรแสดงผล และสัญญาณแรงดันไฟฟ้า

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นผลลัพธ์ระหว่างแรงที่ได้จากมาตรแสดงผล และสัญญาณแรงดันไฟฟ้าโดยมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของมาตรแสดงผลเท่ากับ 0.0013 และเส้นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า เท่ากับ 0.0022 เนื่องจากเครื่องมือวัดที่ใช้ในการตรวจวัดระหว่างการทดลองมีข้อจำกัดด้านหน่วยวัดความละเอียดที่ 0.01 ทำให้ค่าที่บันทึกได้อาจมีความคลาดเคลื่อน อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในห้องทดลองอาจส่งผลต่อความต้านทานของเครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์ (มัลติมิเตอร์) ทำให้สัญญาณแรงดันไฟฟ้ามีความเบี่ยงเบนมาตรฐานมากกว่าข้อมูลจากมาตรแสดงผล



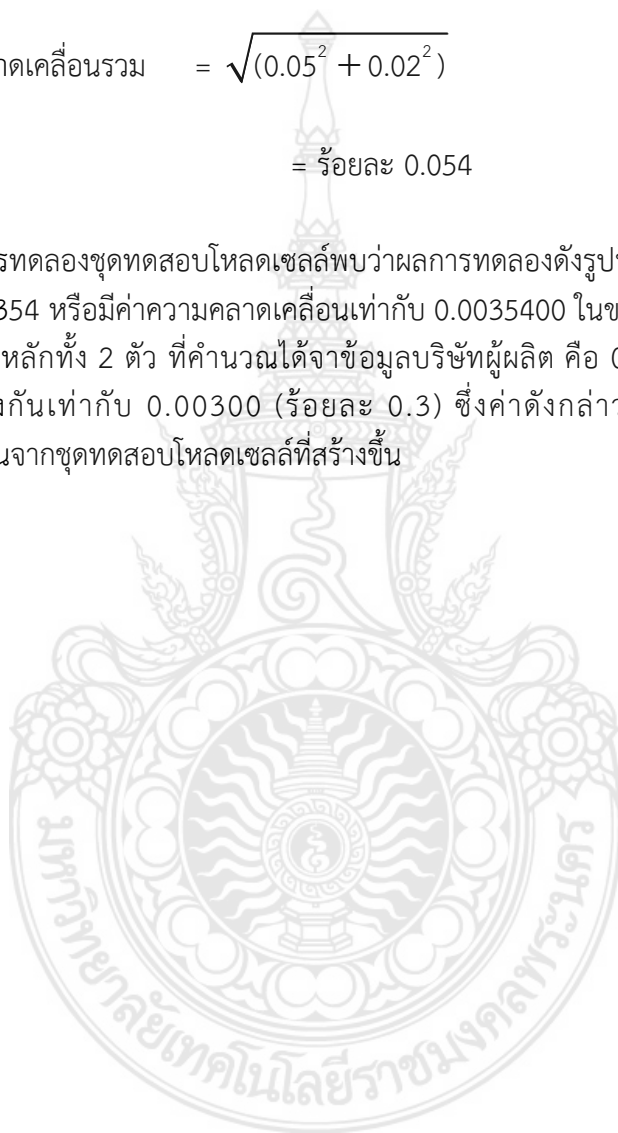
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากมาตรแสดงผล และสัญญาณแรงดันไฟฟ้า

4.4 ค่าความคลาดเคลื่อนของชุดทดสอบโพลดเซลล์

จากผลการสร้างชุดทดสอบโพลดเซลล์ ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 2 ตัว คือ 1.) โพลดเซลล์ 2.) จอแสดงผล ซึ่งบริษัทผู้ผลิตได้กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของโพลดเซลล์ที่ร้อยละ 0.05 และค่าความคลาดเคลื่อนที่จอแสดงผลร้อยละ 0.02 ดังนั้นสามารถนำค่าทั้งสองมาคำนวณหาความคลาดเคลื่อนรวมได้จาก สมการที่ 2.23 ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าความคลาดเคลื่อนรวม} &= \sqrt{(0.05^2 + 0.02^2)} \\ &= \text{ร้อยละ } 0.054 \end{aligned}$$

หลังจากการทดลองชุดทดสอบโพลดเซลล์พบว่าผลการทดลองดังรูปที่ 4.1 ซึ่งมีค่าความเป็นเชิงเส้นเท่ากับ 1.00354 หรือมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.0035400 ในขณะที่ค่าความคลาดเคลื่อนรวมของอุปกรณ์หลักทั้ง 2 ตัว ที่คำนวณได้จากข้อมูลบริษัทผู้ผลิต คือ 0.00054 (ร้อยละ 0.054) มีความแตกต่างกันเท่ากับ 0.00300 (ร้อยละ 0.3) ซึ่งค่าดังกล่าวสันนิษฐานว่าน่าจะเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากชุดทดสอบโพลดเซลล์ที่สร้างขึ้น



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

บทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลศึกษา การทดสอบ จากการกำหนดปัญหาของงานวิจัย ปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะซึ่งจะสะท้อนให้เห็นถึงระดับผลสำเร็จของการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบเครื่องทดสอบความคลาดเคลื่อนของโพลดเซลล์ และการศึกษาความคลาดเคลื่อนของโพลดเซลล์ ซึ่งการออกแบบเครื่องทดสอบความคลาดเคลื่อนของโพลดเซลล์นั้นได้แนวคิดจากทฤษฎีของคาน โดยการออกแบบนั้นได้ติดตั้งโพลดเซลล์ไว้ด้านบนของคาน เมื่อแขวนน้ำหนักไว้อีกข้าง คานจะกดโพลดเซลล์ไว้ ซึ่งการที่โพลดเซลล์อยู่ข้างบนจะทำให้สามารถปรับระดับโพลดเซลล์ให้รองรับกับมวลที่แขวนได้

จากการทดลองและการทวนสอบข้อมูลระหว่างค่าที่อ่านค่าจากมาตรวัดและค่าที่ได้จากการคำนวณในช่วง มวลน้ำหนักที่มากที่สุด แตกต่างกันร้อยละ 0.091 และในช่วง มวลน้ำหนักที่น้อยที่สุด แตกต่างกันร้อยละ 2.15 ในขณะที่การศึกษาความเป็นเชิงเส้นระหว่างแรงที่ได้จากการคำนวณ และมาตรแสดงผล พบว่ามีค่าความแตกต่างเพียงร้อยละ 0.354 อีกทั้งเมื่อศึกษาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) พบว่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของมาตรแสดงผลเท่ากับ 0.0013 และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณแรงดันไฟฟ้า เท่ากับ 0.0022 ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวมีค่าน้อยกว่า 1 จึงมีความน่าเชื่อถือทางสถิติ

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

- 1.) ขนาดของมวลมีความคลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานอันเกิดจากความสีกหรือจากการใช้งาน
- 2.) เครื่องมือที่ใช้ในการวัดมีความละเอียดน้อยที่ 0.01 และไม่ผ่านการสอบเทียบ จึงทำให้มีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อน

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 1.) มวลที่ใช้ในการทดลองควรมีการตรวจสอบสภาพและซ่อมบำรุง
- 2.) ควรหาเครื่องมือวัด ที่มีความละเอียดมากขึ้น และผ่านการสอบเทียบมาแล้ว เพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำและไม่คลาดเคลื่อน
- 3.) ในการทำโครงการครั้งต่อไปควรใช้ไฮดรอลิกเป็นต้นกำลังด้วย เนื่องจากโครงสร้างของเครื่องถูกออกแบบให้สามารถรับแรงได้สูงสุดไม่เกิน 50 กิโลนิวตัน
- 4.) ความถี่ของเครื่องหมายที่บอกระยะความยาวคานรับน้ำหนักก่อนมวล ในการบอกระยะทางควรปรับให้มีความละเอียดมากกว่าความถี่ของเครื่องหมายที่บอกระยะเดิมที่มีอยู่

บรรณานุกรม

- กระทรวงอุตสาหกรรม, ภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2560, [ออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.oie.go.th/sites/default/files/attachments/summary_report/industry_economic_situation_report_jan2017.pdf. [15/12/2561]
- งานสอบเทียบ [ออนไลน์], (ม.ป.ป.), แหล่งที่มา: <http://www.tic.co.th/index.php?op=calibrations-index>. [15/12/2561]
- วิศรุต ศรีรัตน์, 2550, เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ในงานอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- Kyowa, (2562), สเตรนเกจ [ออนไลน์], แหล่งที่มา: https://www.kyowa-ei.co.th/technical/strain_gages/strain_gage.html. [25/04/2562]
- Kyowa, (2562), โหลดเซลล์ [ออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://www.kyowa-ei.com/eng/product/category/sensors/lc-v/index.html>. [3/04/2562]
- Kyowa, (2562), จอแสดงผลโหลดเซลล์ [ออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://www.kyowa-ei.com/eng/product/category/acquisition/wga-680a/index.html>. [3/04/2562]
- Kyowa, (2562), วีทสโตน บริดจ์ [ออนไลน์], แหล่งที่มา: https://www.kyowa-ei.co.th/technical/strain_gages/wheatstone-bridge.html. [25/04/2562]



ไม่มีเนื้อหาจากต้นฉบับ



ประวัติผู้วิจัย



หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายกุลยศ สุวันทโรจน์
(ภาษาอังกฤษ) Mr.Kullayot Suwantaroj
2. หมายเลขประจำตัวประชาชน 3 8101 0015X XX X
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ระดับ 7
4. หน่วยงานและสถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถ10800 พิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ.
โทรศัพท์: 02-9132424 ต่อ 138
โทรสาร: 02-9132424 ต่อ 138
E-mail : ellipse_b@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	วิชาเอก	สถานศึกษา	ปีที่สำเร็จ	ประเทศ
ปริญญาโท	วศม..	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	2546	ไทย
ปริญญาตรี	วศบ..	วิศวกรรมเครื่องกล (เกียรตินิยมอันดับสอง)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	2541	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

การเผาไหม้ขยะชุมชน
การอนุรักษ์พลังงานในโรงงานและอาคาร
การผลิตไบโอดีเซลชุมชน
สิ่งประดิษฐ์ทางการเกษตร

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : -

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย :

- การออกแบบงานเบรกเชิงการสะสมความร้อนเพื่อความปลอดภัย

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :

ผลงานวิจัย	ปีที่พิมพ์	การเผยแพร่	แหล่งทุน	ตำแหน่ง
1. ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน	2549	การประชุมวิชาการ เครือข่ายวิศวกรรม เครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้วิจัย

2.เครื่องสับต้นข้าวโพด	2551	การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยรังสิต	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้วิจัย
3. เครื่องอัดก้อนเชื้อเห็ด		รอกการเผยแพร่	สกว	ผู้ร่วมวิจัย
4.เครื่องทดสอบพฤติกรรมวัสดุความเสียดทาน	2555	วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 22 ฉบับที่ 2	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้ร่วมวิจัย
5. การศึกษาลักษณะทางกายภาพจานเบรกที่ส่งผลกระทบต่อความสามารถการเบรก	2556	วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่23 ฉบับที่ 2	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	หัวหน้าโครงการ
6. Study of heat transfer on front- and back-vented brake discs	2013	Songklanakarin J. Sci. Technol. 35(6)	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้ร่วมวิจัย

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ : -



ผู้ร่วมโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายศุภชัย หลักคำ
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Supachai Lakkam
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3 1201 0178X XX X
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ (พนักงานมหาวิทยาลัย)
4. หน่วยงานและสถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถ.พิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์:02-9132424 ต่อ 138
โทรสาร:02-9132424 ต่อ 138
E-mail: bus_supachai@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	วิชาเอก	สถานศึกษา	ปีที่สำเร็จ	ประเทศ
ปริญญาโท	M.Sc.	Automotive Engineering	The Sirindhorn International Thai-German Graduate School of Engineering (TGGS) มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	2552	ไทย
ปริญญาตรี	วศ.บ.	วิศวกรรมเครื่องกล (เกียรตินิยมอันดับสอง)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2549	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ ระบุสาขาวิชาการ (ซึ่งอาจแตกต่างจากวุฒิการศึกษา)

- เทคนิคการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ (Computation and Simulation Techniques)
- เทคโนโลยีและการจัดการด้านพลังงาน (Energy Technology and Management)

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัยหรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการวิจัย : -

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : -

- เครื่องทดสอบพฤติกรรมวัสดุความเสียดทาน

- การศึกษาปัจจัยการออกแบบท่อพักไอเสียเพื่อลดเสียงรบกวนและรักษาสมรรถนะของเครื่องยนต์

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :

ผลงานวิจัย	ปีที่พิมพ์	การเผยแพร่	แหล่งทุน	ตำแหน่ง
1. ผลกระทบและประสิทธิภาพผ้าเบรกเชิงเสียบรรทุก และสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	พ.ศ.2552	Industry Subcontracting Exhibition of Thailand 2009	บริษัท คอมแพ็ค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด (1994)	นักวิจัย
2. Investigation of Brake Noise Parameters Using Single Dynamometer	Apr.2009	The 5 th International Conference on Automotive Engineering ICAE-5	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	นักวิจัย/ ผู้นำเสนอ
3. Econo Power Car	Jun.2010	The 2 nd RMUTP International Conference : Green Technology and Productivity	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้ร่วมวิจัย/ผู้นำเสนอ
4. Analysis of Clutch Materials behaviour : Comparison between Coefficient of Friction Testing and Full Size Testing	Jun.2012	World Academe of Science, Engineering and Technology 66, 2012	EXEDY Friction Material Co. LTD	ผู้ช่วยวิจัย
5. Study and Trend of Development for Electric Railway and Related Industries in Thailand) Phase 2)		รอเผยแพร่	Industrial Technology Assistance Program	ผู้ร่วมวิจัย
6. โครงการศึกษาเครื่องยนต์แก๊สโซลีนและดีเซลขนาดเล็ก 1 สูบ เพื่อจัดทำร่างกฎกระทรวงเฉพาะด้านประสิทธิภาพพลังงาน ตาม พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2550	พ.ศ.2555	RMUTP Research Journal, Vol.6, No.2,	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน	ผู้ร่วมวิจัย
7. Design and Development of Bus structure for single and double deck		รอเผยแพร่	กรมขนส่งทางบก	ผู้ช่วยวิจัย
8. เครื่องทดสอบพฤติกรรมวัสดุความเสียดทาน	พ.ศ.2555	วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ฉบับที่ 22	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	หัวหน้าโครงการ
9. การทดสอบการอัดตัวของวัสดุผสมภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างๆ	พ.ศ.2556	KKU Research Journal Vol.18, No.2	มทร.พระนคร	ผู้ร่วมวิจัย
10. การศึกษาโครงสร้างกันแรงกระแทกของรถยนต์ที่ส่งผลต่อการดูดซับพลังงาน	พ.ศ.2556	วารสารวิจัย มข.	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้ร่วมวิจัย

11. การศึกษาลักษณะทางกายภาพ งานเบรกที่ส่งผลกระทบต่อ ความสามารถการเบรก	พ.ศ.2556	วารสารวิชาการพระจอมเกล้า พระนครเหนือ	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้ร่วมวิจัย
12. Study of heat transfer on front- and back-vented brake discs	2013	Songklanakarin J. Sci. Technol. 35(6)	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้ร่วมวิจัย

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ : -



ผู้ร่วมโครงการ

8. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายกุลยศ สุวันโทโรจน์
(ภาษาอังกฤษ) Mr.Kullayot Suwantaroj
9. หมายเลขประจำตัวประชาชน 3 8101 0015X XX X
10. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ระดับ 7
11. หน่วยงานและสถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถ10800 พิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ.
โทรศัพท์: 02-9132424 ต่อ 138
โทรสาร: 02-9132424 ต่อ 138
E- mail : ellipse_b@hotmail.com

12. ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	วิชาเอก	สถานศึกษา	ปีที่สำเร็จ	ประเทศ
ปริญญาโท	วศม..	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	2546	ไทย
ปริญญาตรี	วศบ..	วิศวกรรมเครื่องกล (เกียรตินิยมอันดับสอง)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	2541	ไทย

13. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

การเผาไหม้ขยะชุมชน

การอนุรักษ์พลังงานในโรงงานและอาคาร

การผลิตไบโอดีเซลชุมชน

สิ่งประดิษฐ์ทางการเกษตร

14. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

7.5 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : -

7.6 หัวหน้าโครงการวิจัย :

- การออกแบบงานเบรกเชิงการสะสมความร้อนเพื่อความปลอดภัย

7.7 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :

ผลงานวิจัย	ปีที่พิมพ์	การเผยแพร่	แหล่งทุน	ตำแหน่ง
1. คู่มือพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน	2549	การประชุมวิชาการ เครือข่ายวิศวกรรม เครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้วิจัย

2.เครื่องสับต้นข้าวโพด	2551	การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยรังสิต	ม. เทคโนโลยีราช มงคลพระนคร	ผู้วิจัย
3. เครื่องอัดก้อนเชื้อเห็ด		รอกการเผยแพร่	สกว	ผู้ร่วมวิจัย
4.เครื่องทดสอบพฤติกรรมวัสดุความ เสียดทาน	2555	วารสารวิชาการพระจอม เกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 22 ฉบับที่ 2	ม. เทคโนโลยีราช มงคลพระนคร	ผู้ร่วมวิจัย
5. การศึกษาลักษณะทางกายภาพจาน เบรกที่ส่งผลกระทบต่อความสามารถ การเบรก	2556	วารสารวิชาการพระจอม เกล้าพระนครเหนือ ปีที่23 ฉบับที่ 2	ม. เทคโนโลยีราช มงคลพระนคร	หัวหน้า โครงการ
6. Study of heat transfer on front- and back-vented brake discs	2013	Songklanakarin J. Sci. Technol. 35(6)	ม. เทคโนโลยีราช มงคลพระนคร	ผู้ร่วมวิจัย

7.8 งานวิจัยที่กำลังทำ : -

